

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zařízení pro nabíjení akumulátorů s modifikací
nabíjecího proudu
The Battery Charger with Charging Current
Modification

2014

Marek Divílek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Marek Divílek

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Zařízení pro nabíjení akumulátorů s modifikací nabíjecího proudu
The Battery Charger with Charging Current Modification

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor způsobů a možností nabíjení jednotlivých typů akumulátorů s ohledem na tvar nabíjecího proudu.
2. Navrhněte a realizujte nabíječku akumulátorů s vybíjecím pulsem s možností změny jeho tvaru a velikosti.
3. Na realizovaném vzorku proveďte měření ověřující funkčnost zařízení a vhodnost využití zařízení pro nabíjení akumulátorů.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty


Poděkování

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Petru Palackému, Ph.D za cenné rady, věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne: 7.5.2014

Podpis: 

Abstrakt

Bakalářská práce se ve své první části zabývá popisem vlastností a parametrů nejpoužívanějších typů akumulátorů na našem trhu, přičemž je kladen důraz především na oblast nabíjení těchto akumulátorů a popis jednotlivých nabíjecích metod.

Druhá a třetí část je věnována návrhu a realizaci nabíječky olověných akumulátorů s vybíjecím pulzem, dále následuje ověření její funkčnosti a zkoumání vlivu tvaru průběhu nabíjecího proudu na využitelnou kapacitu akumulátoru.

Klíčová slova

olověný akumulátor, nabíjení, Ni-Cd, Ni-MH, Ni-Zn, Li-ion, Li-Pol, pulzní nabíjení, nabíječka, kapacita akumulátoru

Abstract

First part of this bachelor's thesis deals with the description of characteristics and parameters of the most widely used types of batteries on our market. The emphasis is put mainly on the charging of these batteries and description of its charging methods.

The second and third part deals with the design and realization of lead-acid battery charger with discharge pulse, verification of its functionality and examination of the impact of current waveform on the residual battery capacity.

Keywords

lead-acid battery, charging, Ni-Cd, Ni-MH, Ni-Zn, Li-ion, Li-Pol, pulse charging, charger, battery capacity

Obsah

Úvod.....	6
1 Typy akumulátorů	7
1.1 Alkalické akumulátory	7
1.1.1 Ni-Cd.....	7
1.1.2 Ni-MH.....	15
1.1.3 Ni-Zn.....	16
1.2 Lithiové akumulátory	17
1.2.1 Li-ion.....	17
1.2.2 Li-Pol	18
1.3 Olověné akumulátory	19
1.3.1 Nabíjení.....	19
1.3.2 Sulfatace elektrod.....	20
1.3.3 Desulfatace.....	20
2 Praktická část	21
2.1 Požadovaný průběh proudu.....	21
2.2 Návrh a realizace nabíječky	22
2.3 Popis činnosti	22
2.3.1 Výkonová část.....	22
2.3.1 Řídící část.....	22
3 Experimentální část.....	24
3.1 Popis měření.....	24
3.2 Výsledky měření	24
4 Závěr	29
Seznam příloh	34

Úvod

Nejstarší vynález baterie spadá do období téměř před 2000 lety. Takzvaná „Bagdádská baterie“ byla hliníková nádoba naplněná octovým roztokem, v němž byla vložena měděná tyčinka. Napětí této baterie se pohybovalo v rozmezí 1,1 až 2 V.

Základy elektrochemických článků, jak je známe dnes, byly položeny osobnostmi, jako byli například Alessandro Volta (1745-1827) a Luigi Galvani (1737-1798).

První elektrický článek, který dokázal produkovat elektrický proud, byl tzv. „Voltův sloup“, který sestrojil zmíněný Alessandro Volta. Jednalo se o několik sériově zapojených elektrických článků se zinkovou a měděnou elektrodou, které byly od sebe odděleny kousky kůže a potřeny kyselým roztokem. Konce tohoto sloupu pak byly nazvány póly. Díky tomuto vynálezu Volta zjistil, že chemická reakce mezi dvěma kovy za přítomnosti určité kapaliny může vytvořit elektrický proud.

Na základě Voltova objevu byla chemikem Dr. Williamem Cruickshankem v roce 1802 vyvinuta první baterie vhodná pro sériovou výrobu. Skládala se z vrstev měděných a zinkových plíšků, které byly umístěny v dřevěné bedně, která byla naplněna roztokem chloridu sodného a utěsněna cementem. Nevýhoda všech těchto zařízení však byla ta, že je nešlo dobíjet. Jakmile se tedy jednou vybila, byla již nepoužitelná.

V roce 1859 však francouzský fyzik Gaston Planté sestrojil zařízení skládající se z olovených destiček vzájemně izolovaných plátnem, které byly ponořeny v roztoku kyseliny sírové, čímž položil základ pro dnešní olovené akumulátory, které lze dobíjet a opětovně používat.

Na všechny tyto objevy a vynálezy postupně navazovali další vědci a postupem času vznikaly nejrůznější typy akumulátorů se širokou škálou vlastností a použití. [1] [2] [3]

Cílem této bakalářské práce je popis vlastností a parametrů nejpoužívanějších typů akumulátorů a popis metod, kterými se tyto akumulátory nabíjí. Praktická část je poté zaměřena na výrobu nabíječky olovených akumulátorů, která by byla schopna vytvořit vybíjecí pulz a poté porovnání vlivu tvaru nabíjecího proudu na využitelnou kapacitu akumulátoru.

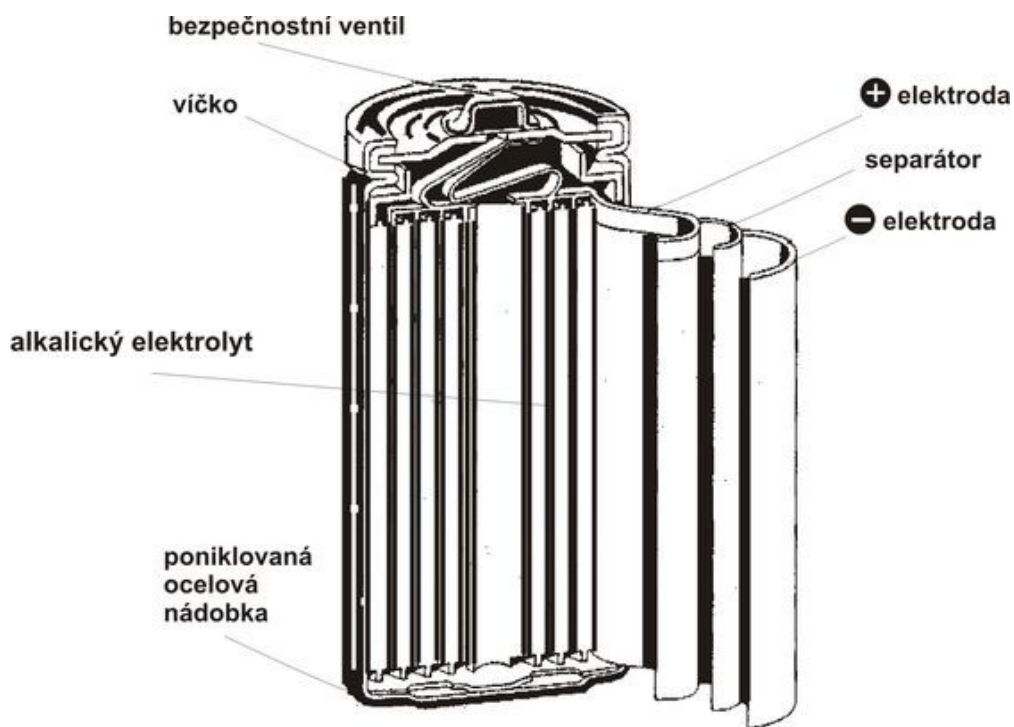
1 Typy akumulátorů

1.1 Alkalické akumulátory

Alkalické akumulátory se vyznačují tím, že je na jejich konstrukci použit jeden společný druh elektrolytu – hydroxid draselný. Tyto akumulátory se dělí do různých skupin podle materiálů, ze kterých jsou vyrobeny jejich elektrody. Jsou to nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-metal hydridové (Ni-MH), nikl-železné (Ni-Fe), nikl-zinkové (Ni-Zn), stříbro-zinkové (Ag-Zn), stříbro-kadmiové (Ag-Cd) apod. [4]

1.1.1 Ni-Cd

Je to druh galvanického článku, jehož kladné elektrody jsou ve vybitém stavu tvořeny hydroxidem nikelnatým a záporné elektrody hydroxidem kademnatým. [5] [6]



Obr. 1 Konstrukce Ni-Cd hermetického akumulátoru [6]

Použití

Ni-Cd akumulátory mají velmi široké pole využití. Díky vysokému vybíjecímu proudu se používají především v ručním akumulátorovém nářadí, v pohonech modelů aut, letadel, lodí apod. Dříve se používaly v přenosných zařízeních jako mobilní telefony, radiostanice nebo videokamery. V dnešních dobách jsou však Ni-Cd akumulátory již na ústupu. Jsou nahrazovány modernějšími typy, které mají lepší vlastnosti a představují menší zátěž pro životní prostředí, jako například akumulátory typu Ni-MH nebo Li-ion. [7]

Nabíjení Ni-Cd akumulátorů

Způsobů, jakými lze Ni-Cd akumulátory nabíjet, je mnoho. Záleží na parametrech, které jsou sledovány při nabíjecím procesu, podle nich se stanovuje, zda je akumulátor plně nabit. Mezi určující parametry patří napětí akumulátoru, velikost nabíjecího proudu, doba nabíjení a teplota akumulátoru. Moderní nabíječky mohou tyto parametry mezi sebou různě kombinovat a dosáhnout tak optimálního nabití akumulátoru. [8]

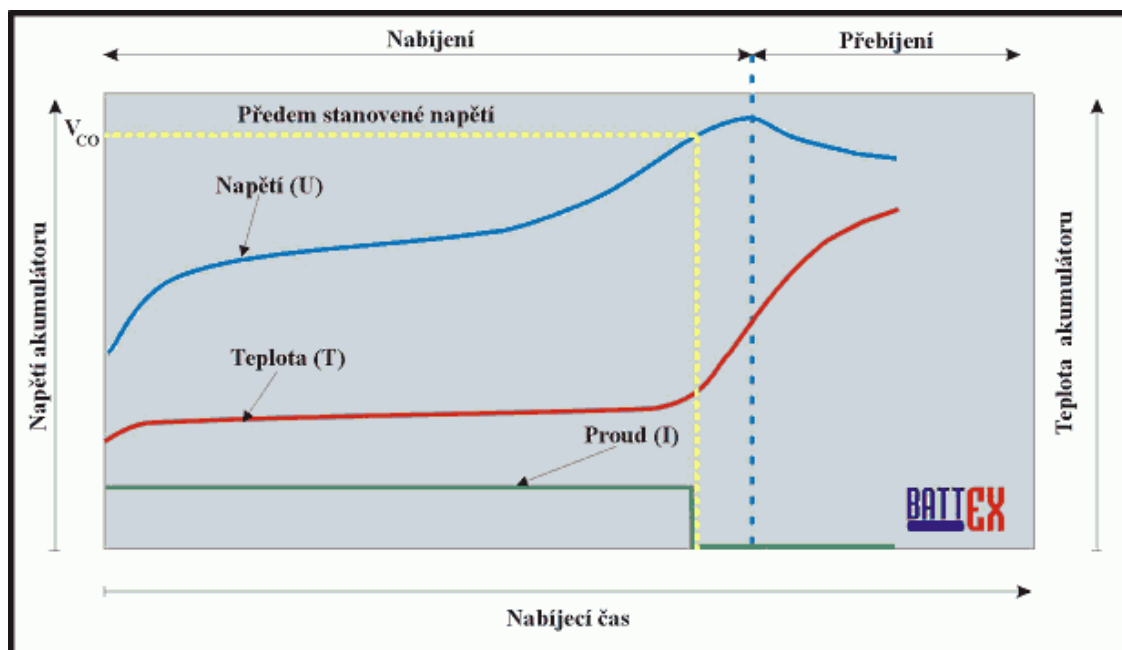
Nabíjení pomocí napět'ové zpětné vazby

Tento princip nabíjení se dále dělí na čtyři metody:

- V_{CO} - předem definované napětí
- PKV - vrchol napětí
- $-\Delta V$ - pokles napětí na konci nabíjení
- d^2V/dt^2 - sledování druhé derivace napětí v čase [8]

Metoda V_{CO}

Tato metoda spočívá v ukončení nabíjecího procesu při dosažení předem určeného napětí, které se označuje V_{CO} (voltage cut off – napět'ové přerušení). Napětí V_{CO} má každý akumulátor jiné a zjistíme jej v katalogu výrobce. Tato metoda není moc rozšířená, jelikož není zcela přesná. Průběh napětí se totiž v průběhu nabíjení mění v závislosti na nabíjecím proudu a teplotě a rovněž jej ovlivňují i další faktory. Proto se tato metoda používá spíše jen jako doplňková metoda k jiným nabíjecím postupům. [9]



Obr. 2 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru metodou V_{co} [9]

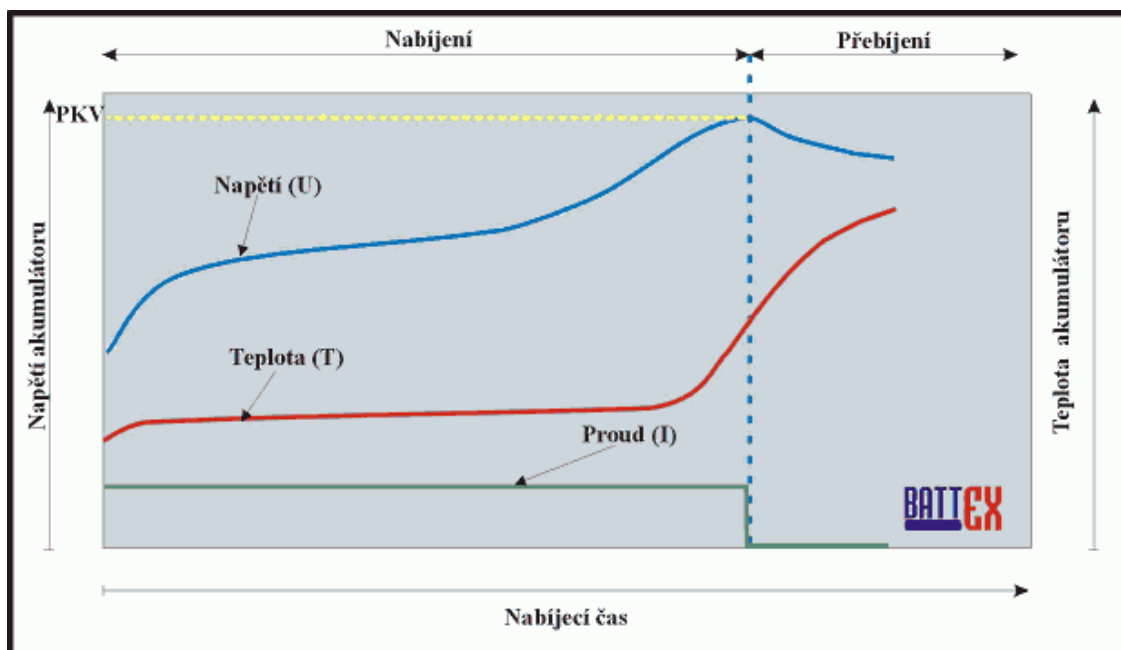
Metoda PKV

Název této metody vznikl z anglického peak voltage detection - nalezení vrcholu napětí. Metoda spočívá v ukončení nabíjecího procesu ve chvíli, kdy napětí nabíjeného akumulátoru dosáhne nejvyššího bodu. PKV se nejčastěji využívá pro takzvané „rychlé“ nabíjení, tedy pro nabíjení proudy $2 I_t$ až $0,5 I_t$, jelikož pro standardní nabíjecí proudy je vrchol napětí poměrně obtížné určit.

$$I_t = \frac{C}{n} \quad (1)$$

kde C je kapacita udávána výrobcem a n je časová základna, pro niž je tato hodnota deklarována.

Kvůli tomu že při rychlém nabíjení se akumulátor více zahřívá, není doporučeno tuto metodu používat při vyšších než pokojových teplotách, jelikož by hodnota vrcholu napětí mohla být zkreslena. [10]



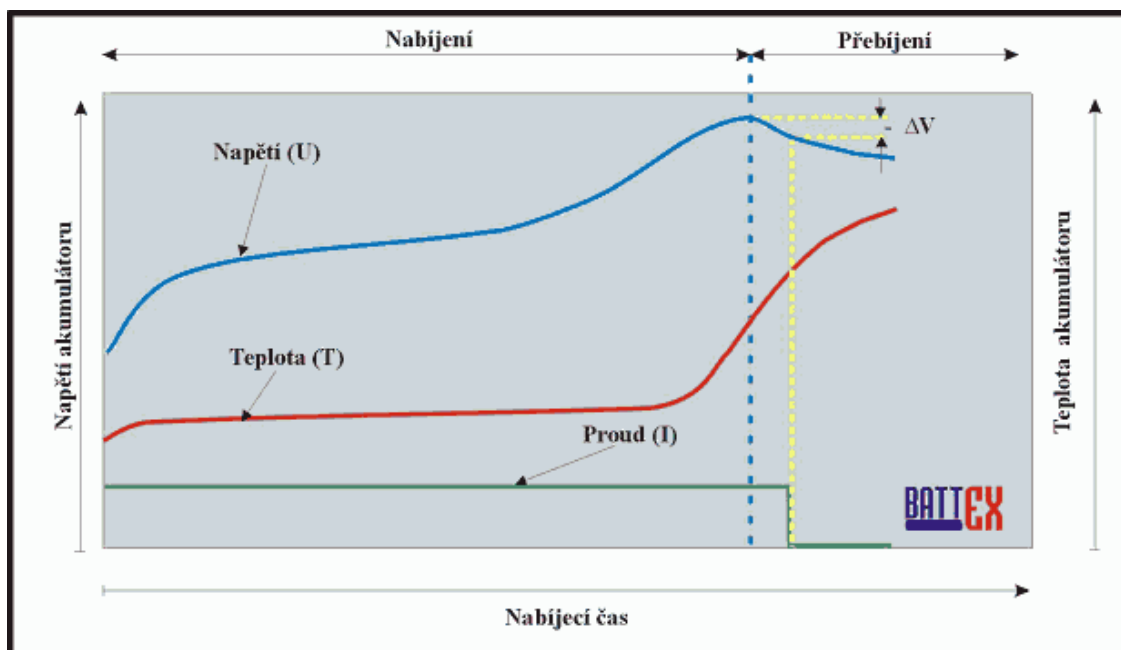
Obr. 3 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru metodou PKV [10]

Metoda $-\Delta V$

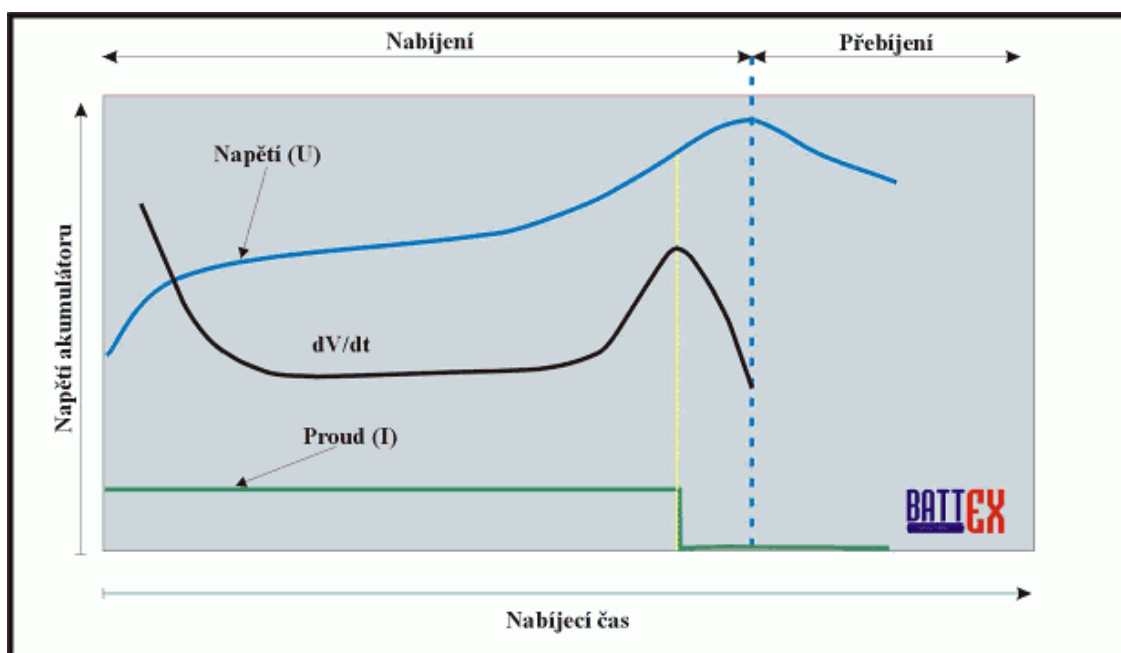
Metoda $-\Delta V$ (anglicky delta peak) je nejrozšířenější a nejpoužívanější metoda nabíjení Ni-Cd akumulátorů vůbec. Tento způsob nabíjení spočívá v ukončení nabíjecího procesu, když napětí článku při nabíjení poklesne o určitou hodnotu. Standardně tato hodnota bývá -10 mV , moderní nabíječky však umožňují onu hodnotu v určitém rozsahu měnit. Metoda se používá pro rychlé nabíjení, tedy pro nabíjecí proudy $2I_t$ až $0,5I_t$. Při nabíjení nižšími proudy totiž pokles napětí nenastává a pro vyšší proudy tato metoda rovněž není nejvhodnější. Další nevýhodou $-\Delta V$ je fakt, že pokles napětí je způsoben zvýšením teploty akumulátoru. Samotné zvýšení teploty není na závadu, ale problém je v tom, že zvýšení teploty je způsobeno přebíjením akumulátoru, což má neblahý vliv na jeho životnost. [11]

Metoda d^2V/dt^2

Tento způsob nabíjení je podobný jako ten předcházející a spočívá ve sledování druhé derivace napětí v čase. Nabíjecí elektronika vyhodnocuje tvar křivky derivace napětí v čase, a jakmile zaznamená vrchol této charakteristiky, nabíjení je ukončeno. Při této metodě nedochází k přebíjení akumulátoru jako u metody $-\Delta V$ a má tedy příznivý vliv na životnost akumulátoru. [12]



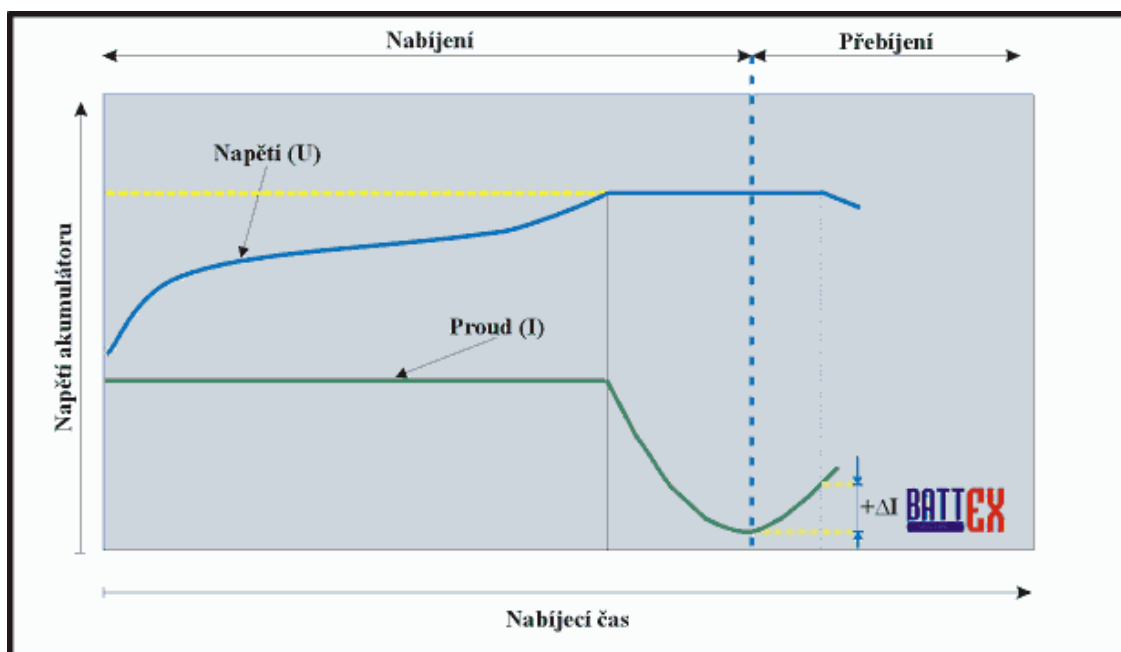
Obr. 4 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru metodou $-\Delta V$ [11]



Obr. 5 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru metodou d^2V/dt^2 [12]

Nabíjení pomocí proudové zpětné vazby

Tato metoda spočívá v nabíjení akumulátoru konstantním proudem až do dosažení předem určeného napětí. Poté se akumulátor začne nabíjet metodou konstantního napětí. Jakmile poté začne nabíjecí proud vzrůstat, nabíjecí proces se ukončí. Nevýhodou tohoto principu je nabíjení zahřátých akumulátorů nebo nabíjení za vyšších než pokojových teplot. V těchto případech totiž může nastat situace, že akumulátor nemusí dosáhnout předem zvoleného napětí. To je jeden z důvodů, proč se tato metoda dnes již moc nepoužívá. [13]

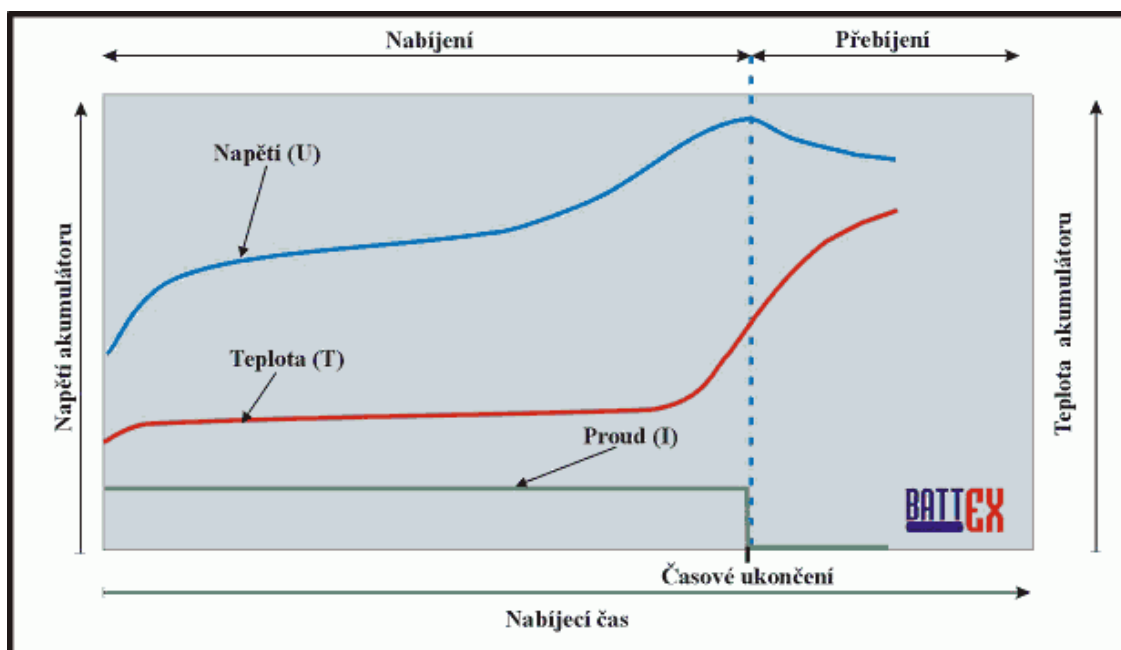


Obr. 6 Průběhy napětí a proudu při nabíjení Ni-Cd akumulátoru pomocí proudové vazby [13]

Nabíjení pomocí časové zpětné vazby

Tato metoda byla hojně využívána v dřívějších dobách. Dnes se rovněž používá, ale již ne v takovém měřítku. Princip je takový, že se akumulátor nabíjí konstantním proudem po předem určenou dobu, po které musí být akumulátor od nabíječky, ať už manuálně nebo automaticky, odpojen. Tato metoda se používá pro pomalé nabíjení, tedy nabíjení proudy v rozsahu $0,1I_t$ až $0,2I_t$ a doba nabíjení se pohybuje okolo 14 hodin.

Tento způsob nabíjení má několik nevýhod a je tedy nutné dbát na určitá pravidla, aby byl akumulátor nabíjen správně. Například začneme-li nabíjet ne zcela vybitý akumulátor, po určité době se nabije na maximum, ale jelikož ještě neuběhl předem nastavený čas, nabíječka dále akumulátor nabíjí a dochází tak k jeho přebíjení a přehřívání, čímž se velmi snižuje jeho životnost. Je proto vhodné před nabíjením akumulátor úplně vybit nebo jej ve správnou dobu odpojit manuálně. [14]



Obr. 7 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru pomocí časové zpětné vazby [14]

Nabíjení pomocí teplotní zpětné vazby

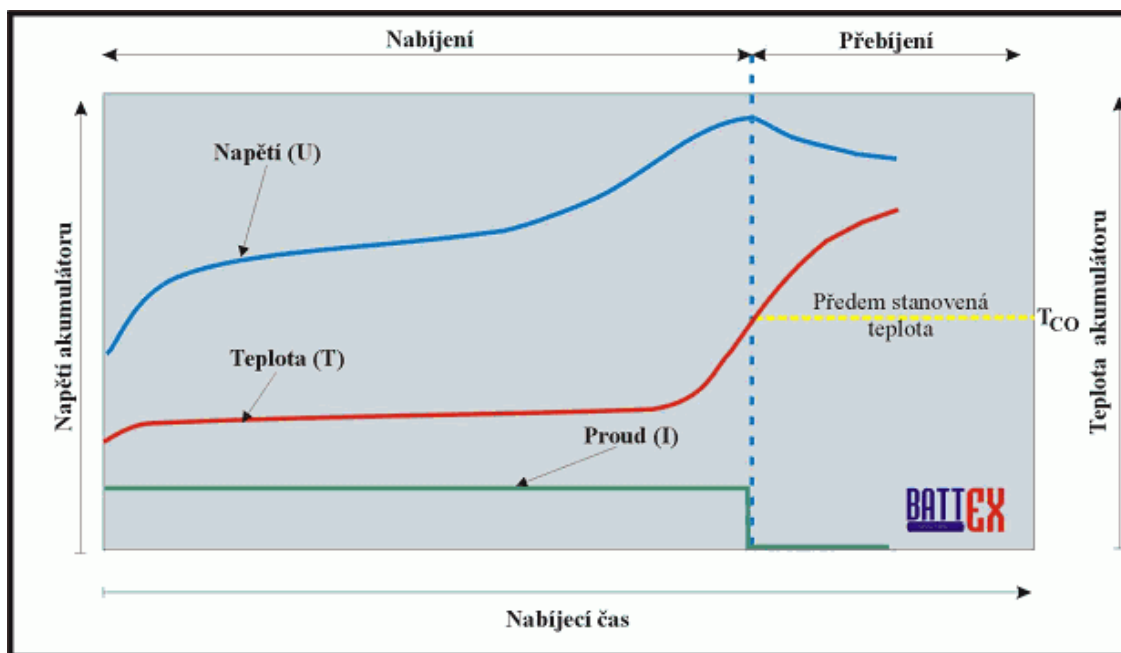
Tento způsob nabíjení je založen na principu sledování teploty akumulátoru, která se snímá ve většině případů pomocí NTC termistoru, který se nejčastěji umísťuje na plášť akumulátoru. Používají se dvě nabíjecí metody - T_{CO} a $\Delta T/\Delta t$.

Metoda T_{CO} vznikla z anglického „thermal cut off“ (teplotní vypnutí) a spočívá v odpojení akumulátoru při dosažení předem určené teploty, která bývá nastavena většinou na hodnotu kolem 40 až 45 °C.

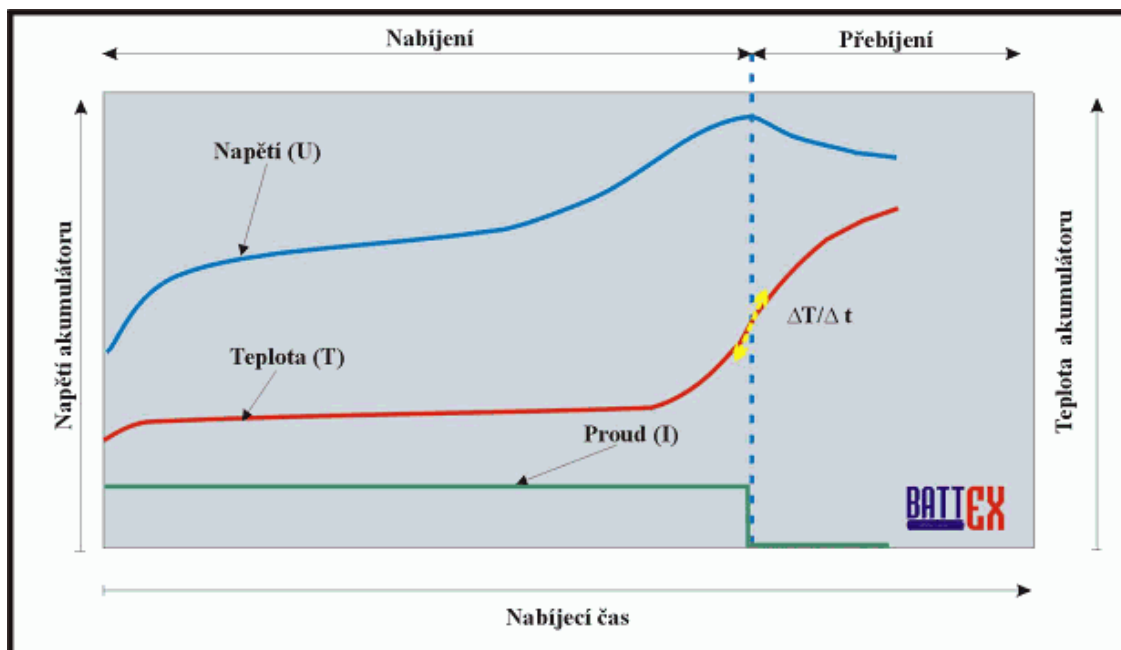
Tato metoda není vhodná pro akumulátory zahřáté na velmi nízkou či vysokou teplotu. Studené akumulátory se totiž budou zbytečně přebíjet, než dosáhnou požadované teploty a naopak zahřáté akumulátory se nestihnou nabít na maximum nebo se v horším případě nezačnou nabíjet vůbec.

Metoda $\Delta T/\Delta t$ sleduje průběh a změnu teploty akumulátoru v čase. Konec nabíjení nastává v okamžiku, kdy se teplota změní o 0,5 až 1 °C za minutu. Nabíjecí proud by měl mít velikost minimálně $0,3I_L$ a teplota by neměla překročit 30 °C.

Tato metoda je velmi oblíbená, ale i ona má svá úskalí. Není vhodná v situacích, kdy je nutné nabíjecí cyklus přerušit a později v něm opět pokračovat. Akumulátor totiž vychladne a tím je nabíjecí proces zkreslen. [15] [16] [17]



Obr. 8 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru metodou T_{CO} [16]



Obr. 9 Průběhy napětí, proudu a teploty při nabíjení Ni-Cd akumulátoru metodou $\Delta T/\Delta t$ [17]

1.1.2 Ni-MH

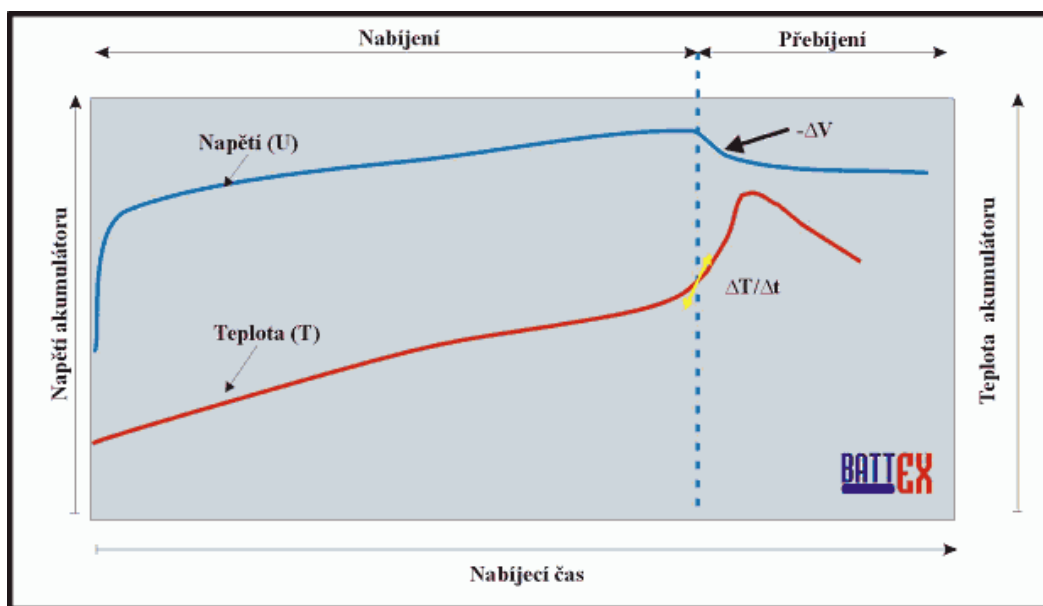
V současnosti tento typ akumulátorů vytlačuje akumulátory typu Ni-Cd především díky svým lepším vlastnostem a nižší zátěži pro životní prostředí. Ni-MH akumulátory pracují na podobném principu jako Ni-Cd. Kladná elektroda je tvořena oxid-hydroxidem niklitým, záporná poté speciální kovovou slitinou. [18] [19]

Použití

Jak již bylo zmíněno, Ni-MH akumulátory postupně vytlačují akumulátory Ni-Cd a tak i jejich oblast použití je velmi podobná. Nejvíce se však používají jako náhrada klasických jednorázových primárních baterií v drobných zařízeních, které nemají velký proudový odběr nebo do ručního akumulátorového nářadí apod. [20]

Nabíjení Ni-MH akumulátorů

Způsoby nabíjení Ni-MH akumulátorů se od nabíjení Ni-Cd lehce liší. Hlavním důvodem je rozdílný průběh teploty při nabíjení. Zatímco u Ni-Cd akumulátorů se teplota během nabíjení nemění a vzrůstá teprve až při přebíjení, u Ni-MH akumulátorů teplota vzrůstá po celou dobu nabíjení a při přebíjení je tento jev ještě výraznější. Důležitým parametrem, který ovlivňuje teplotu Ni-MH akumulátoru, je nabíjecí proud. Čím vyšší je nabíjecí proud, tím více se akumulátor zahřívá. Důležitý je také fakt, že napětí nabíjeného Ni-MH akumulátoru na konci nabíjení mírně klesne. Opět se tak dá tohoto poklesu využít coby výhody a aplikovat metodu $-\Delta V$ tak jako u Ni-Cd akumulátorů. Rovněž můžeme používat i teplotní metody T_{CO} a $\Delta T/\Delta t$, které jsou popsány výše. Nevhodné metody nabíjení Ni-MH akumulátorů jsou naopak PKV a V_{CO} . [21]



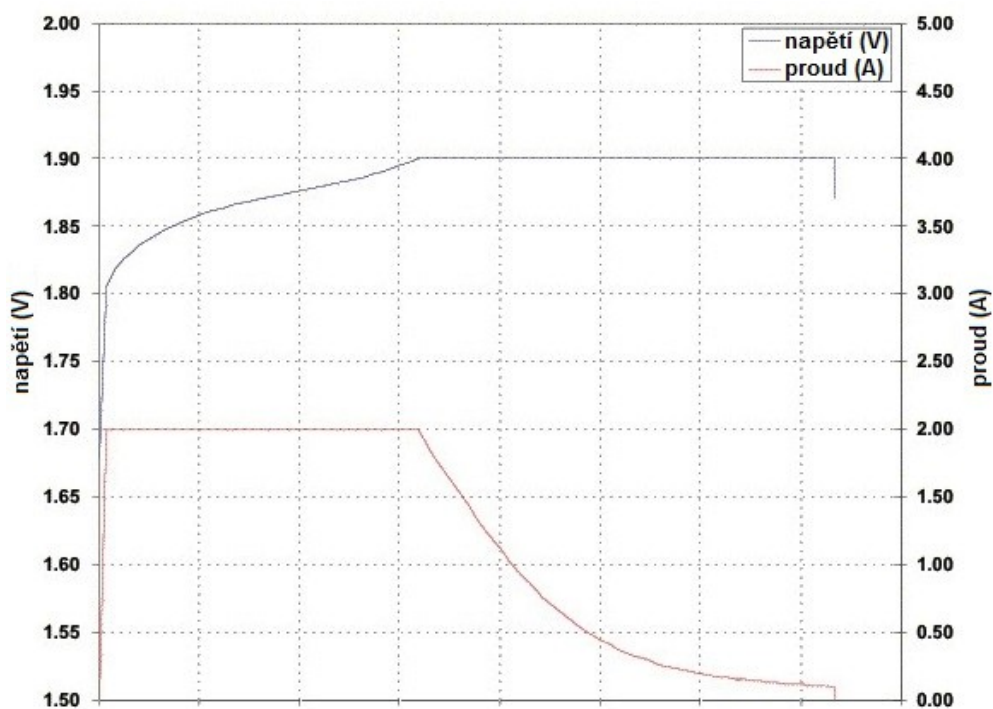
Obr. 10 Průběh teploty a napětí při nabíjení Ni-MH akumulátoru [21]

1.1.3 Ni-Zn

Nikl-zinkové akumulátory se dnes využívají spíše jen okrajově, především kvůli své nižší životnosti a vyšší ceně. Oblast použití je podobná jako u Ni-MH, tedy slouží primárně jako náhrada za Ni-Cd akumulátory. Díky vysokému napětí na jeden článek, které činí 1,6 V, se používají i tam, kde kvůli nízkému napětí nelze použít akumulátory Ni-Cd a Ni-MH, jejichž napětí na jeden článek je pouze 1,2 V. [22] [23]

Nabíjení Ni-Zn akumulátorů

Ni-Zn akumulátory se nabíjí metodou CCCV (constant current followed by constant voltage – konstantní proud následovaný konstantním napětím). Tento princip spočívá v nabíjení akumulátoru konstantním proudem a po dosažení předem určeného napětí v nabíjení konstantním napětím. [22]



Obr. 11 Průběh napětí a proudu při nabíjení Ni-Zn akumulátoru metodou CCCV [24]

1.2 Lithiové akumulátory

Společným znakem všech lithiových akumulátorů je druh použitého elektrolytu, kterým je v tomto případě lithiová sůl v různých formách. Záporné elektrody lithiových akumulátorů bývají vyrobeny z uhlíku a jeho sloučenin, kladné elektrody pak z oxidů různých kovů.

Na dnešním trhu se vyskytuje mnoho různých typů lithiových akumulátorů. Mezi nejpoužívanější patří akumulátory lithium-iontové (Li-ion), lithium-polymerové (Li-Pol) a relativně nový druh – lithium-železo-fosfátové (LiFePO_4). [25]

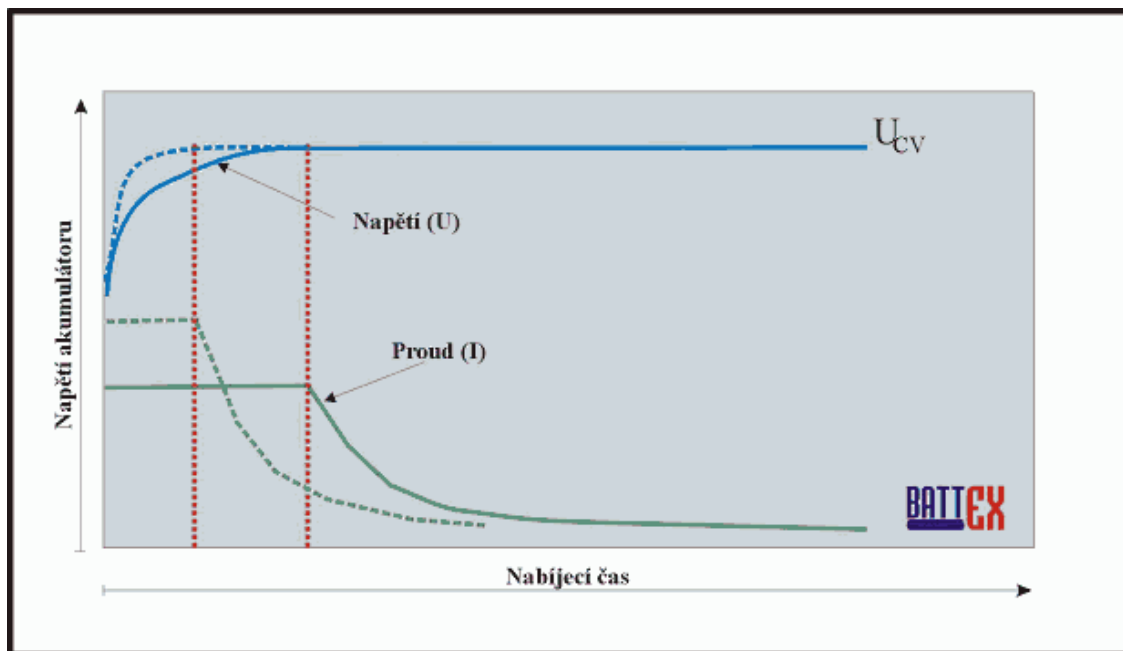
1.2.1 Li-ion

Lithium-iontové akumulátory se v dnešních dobách nejvíce používají především ve spotřební elektronice jako zdroj energie pro malá a střední přenosná zařízení, která nemají velký proudový odběr. Typicky jsou to mobilní telefony, tablety, fotoaparáty, videokamery apod. Používají se ale i jako zdroj energie pro elektromobily nebo pro akumulátorové nářadí.

Rozdílem například oproti Li-Pol akumulátorům je forma, v jaké se nachází elektrolyt. U Li-ion akumulátorů je elektrolyt (LiPF_6 , LiBF_4 nebo LiClO_4) rozpuštěn v organickém rozpouštědle. [26] [27]

Nabíjení Li-ion akumulátorů

Li-ion akumulátory se rovněž jako např. Ni-Zn akumulátory nabíjí metodou CCCV. Tedy metodou, při které se akumulátor zprvu nabíjí konstantním proudem a po dosažení předem určené hodnoty napětí se poté začne nabíjet při konstantním napětí. Při nabíjení konstantním napětím proud postupně klesá, a jakmile dosáhne určité hranice (většinou kolem 2 % hodnoty jmenovité kapacity akumulátoru), nabíjení se ukončí. Tato metoda je velmi jednoduchá a přitom velmi efektivní a spolehlivá. [28]



Obr. 12 Průběh napětí a proudu při nabíjení Li-ion akumulátoru metodou CCCV [28]

1.2.2 Li-Pol

Lithium-polymerové akumulátory jsou jedny z nejdokonalejších akumulátorů vůbec. Jelikož jsou Li-Pol akumulátory v podstatě zdokonalené Li-ion akumulátory, pracují na velmi podobném principu. Největším rozdílem oproti Li-ion akumulátorům je však forma ve které se nachází elektrolyt. Zatímco u Li-ion akumulátorů je elektrolyt (lithiová sůl) rozpuštěn v organickém rozpouštědle a je tedy tekutý, u Li-Pol je vázán do pevného polymerického kompozitu, který má konzistenci tužšího gelu.

Ačkoliv Li-Pol akumulátory patří ve svém odvětví ke špičce, nejsou tak rozšířené, jak by se na první pohled mohlo zdát, důvodem je jejich vyšší cena.

Li-Pol akumulátory se používají v podobných oblastech jako Li-ion, tedy v mobilních telefonech, tabletech, fotoaparátech, ve videokamerách apod. Velkou oblibu si Li-Pol akumulátory vydobily v RC modelech, zejména pak modelech letadel a vrtulníků a také mezi hráči airsoftu. [29] [30]

Nabíjení Li-Pol akumulátorů

K nabíjení Li-Pol akumulátorů se používá metoda CCCV, viz Nabíjení Li-ion akumulátorů. [30]

1.3 Olověné akumulátory

Olověný akumulátor je v dnešní době nejpoužívanějším sekundárním článkem a to především díky své přijatelné ceně, spolehlivosti a výkonu.

Elektrody olověného akumulátoru jsou v nabitém stavu tvořeny oxidem olovičitým (kladná elektroda) a pórovitým olovem (záporná elektroda), elektrolyt je tvořen roztokem kyseliny sírové. V nabitém stavu se koncentrace roztoku pohybuje v rozmezí 28 až 40 %, u vybitého akumulátoru je to 12 až 24 %. Těchto hodnot se s výhodou využívá při měření zbytkové kapacity akumulátoru, jelikož pokles koncentrace elektrolytu je přímo úměrný energii, která byla z akumulátoru odebrána. [4] [31]

1.3.1 Nabíjení

Nabíjíme-li obyčejný otevřený vybitý šesti-článekový akumulátor, zjistíme, že jeho napětí v průběhu nabíjení stoupá ve třech fázích.

V první fázi se tvoří v pórech olověných desek kyselina sírová a napětí akumulátoru stoupá na cca 13,2 V. Ve druhé fázi nabíjení pokračuje přeměna síranu olovnatého do napětí cca 14,4 až 14,7 V. Při překročení tohoto napětí se dostaneme do třetí fáze nabíjení, kdy se kromě síranu olovnatého začne v akumulátoru rozkládat voda na kyslík a vodík a akumulátor začne plynovat. Pokud se veškerý síran olovnatý rozloží, napětí akumulátoru dosáhne hodnoty 16,2 V až 16,8 V. Za těchto podmínek akumulátor velmi silně plynuje a jeho napětí se již dále nezvyšuje.

Plynování akumulátoru může nastat i při nižších napětích než je 14,4 až 14,7 V, což ale může znamenat, že akumulátor trpí tzv. „sulfatací“ elektrod. [32]

Pulzní nabíjení

V poslední době se pulzní nabíjení akumulátorů začíná stále více využívat. Pulzní nabíjení má oproti klasickým výše uvedeným metodám několik výhod např. vyšší účinnost nabíjení čímž dochází ke zkrácení nabíjecí doby a prodloužení životnosti akumulátoru.

Nabíjecí cyklus se skládá z proudových pulzů určitého tvaru a doby stání. To vše může být ještě doplněno o vybíjecí pulz, jehož střední hodnota by se měla ideálně pohybovat v rozmezí 0,1 až 0,2 násobku střední hodnoty nabíjecího pulzu. Tento cyklus se poté periodicky opakuje po celou dobu nabíjení. Pokud v průběhu nabíjení snižujeme amplitudu nebo dobu trvání nabíjecích pulzů, můžeme efektivně zabránit zahřívání akumulátoru. Z důvodu postupného snižování náboje, který během jednoho pulzu do akumulátoru dodáme, se i snižuje plynování. Rovněž se prokázalo, že pulzní nabíjení má kladný vliv na sulfatovaný akumulátor a pomáhá tak při jeho regeneraci a obnově ztracené kapacity. [4] [32]

1.3.2 Sulfatace elektrod

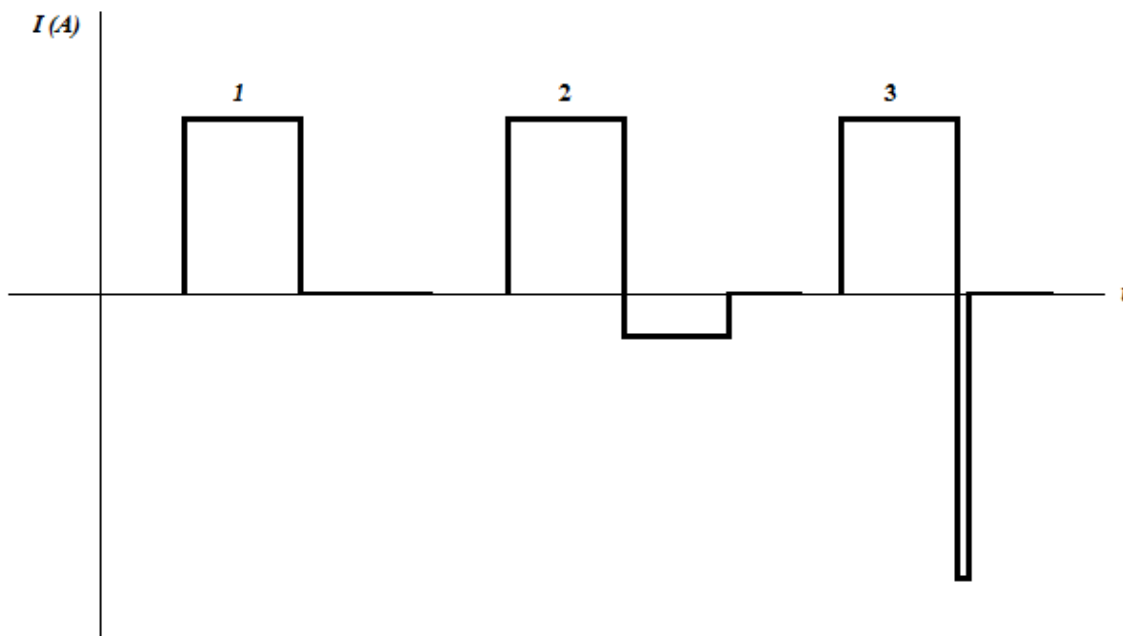
Je-li olověný akumulátor delší dobu skladován ve vybitém stavu nebo je-li dlouhodobě nedostatečně nabíjen, dojde k nežádoucímu jevu - sulfataci elektrod. Tento jev spočívá v postupné tvorbě krystalků síranu olovnatého (PbSO_4) na elektrodách, který má za následek snížení kapacity akumulátoru, zvýšení jeho vnitřního odporu a tedy snížení napětí a proudu, který je schopen akumulátor dodávat. Chceme-li sulfatovaný akumulátor nabít, bude se více zahřívat a začne plynout při nižších napětích. [4] [31] [32]

1.3.3 Desulfatace

Chceme-li sulfatovaný akumulátor zregenerovat a navrátit mu původní kapacitu, musíme provést tzv. „desulfataci“, což je děj, při němž se krystalky síranu olovnatého rozloží a rozpustí v elektrolytu akumulátoru.

Lehkou sulfataci můžeme odstranit tak, že akumulátor budeme dobíjet malým dobíjecím proudem po dlouhou dobu až několika dnů.

Další způsob desulfatace využívá pulzního nabíjení s vybíjecím pulzem. Amplituda nabíjecího pulzu by měla být v rozsahu 0,01 až 0,02C a vybíjecí pulz by měl mít hodnotu 1/5 až 1/10 velikosti nabíjecího proudu. Díky vybíjecímu pulzu se krystalky síranu na elektrodách depolarizují a lépe se tak rozpustí v elektrolytu akumulátoru. Frekvence pulzů se nejčastěji pohybují řádově v jednotkách kHz, doba desulfatace se pak podle kapacity akumulátoru může pohybovat v řádu dnů i týdnů. [4] [32] [33]



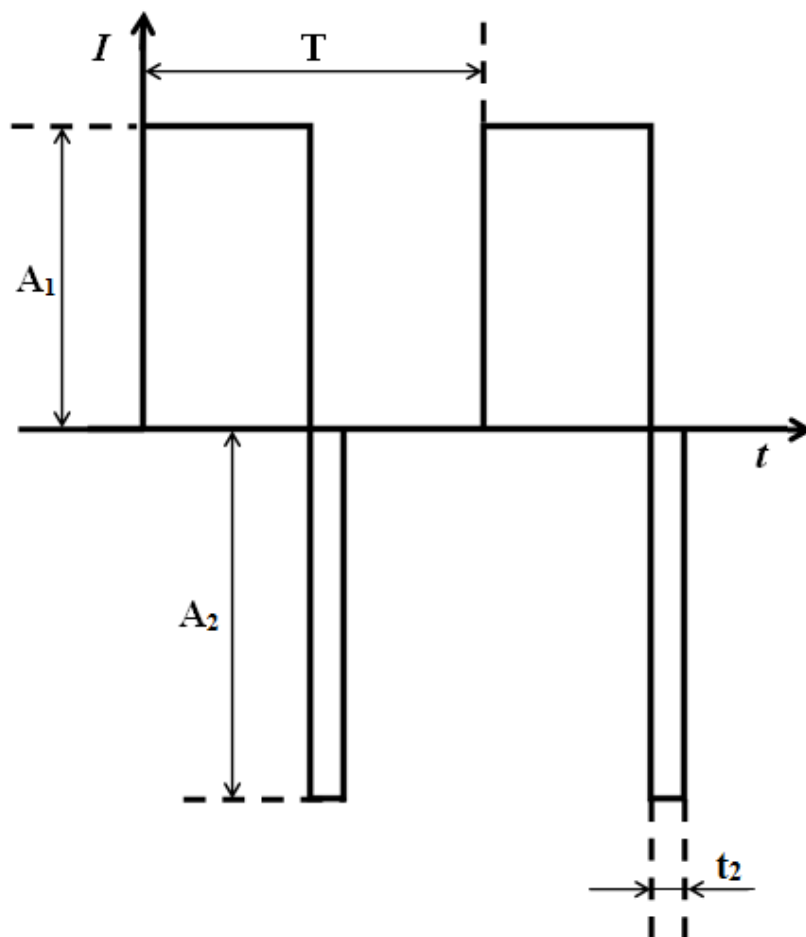
Obr. 13 Příklady různých typů průběhů pulzního nabíjení

2 Praktická část

Praktická část této bakalářské práce se zabývá realizací pulzní nabíječky akumulátorů s vybíjecím pulzem.

2.1 Požadovaný průběh proudu

Požadovaný průběh nabíjecího proudu se skládá ze tří hlavních částí. Konkrétně jde o obdélníkový nabíjecí pulz, obdélníkový vybíjecí pulz a dobu stání. Vyznačené části na Obr. 14. musí být podle požadavků nastavitelné. Na nabíječce by tedy měla být možnost nastavení amplitudy nabíjecího a vybíjecího pulzu, frekvence pulzů a doby trvání vybíjecího pulzu. Střída je nastavena fixně na hodnotu 50 %.



Obr. 14 Požadovaný průběh nabíjecího a vybíjecího proud

2.2 Návrh a realizace nabíječky

Při návrhu nabíječky akumulátorů bylo čerpáno z bakalářské práce *Vlivy průběhů nabíjecích proudů na vlastnosti akumulátorů* Pavla Mončka. Ta se zabývala podobným tématem, a tak bylo možné použít schéma nabíječky právě z této práce. Bylo ovšem nutno schéma v určité míře upravit, aby nabíječka splňovala zadané parametry. Jedna z úprav se týkala konstrukce zdroje proudu. Po poradě s vedoucím práce byl použit integrovaný obvod L200. Jedná se o lineární regulátor napětí s možností proudového omezení. Právě tímto obvodem je nastavována amplituda nabíjecího pulzu. Nevýhodou tohoto obvodu je nízká hodnota výstupního proudu, jejíž maximální hodnota je pouze 2 A, proto bylo zapotřebí použít tzv. „posilovací tranzistor“, který dokázal zvýšit celkový nabíjecí proud. Další úskalí spočívalo v návrhu chlazení výkonových součástek. Pomocí hodnot z katalogových údajů součástek byl vypočten tepelný odpor chladiče nutný pro jejich dostatečné chlazení. Celkem jsou v nabíječce použity tři chladiče. Jeden pro chlazení obvodu L200 spolu s posilovacím tranzistorem a po jednom kuse pro nabíjecí a vybíjecí tranzistor. Chlazení všech součástek je navíc podpořeno ventilátorem umístěným v zadní části těla nabíječky.

Návrh a tvorba plošného spoje probíhala v programu EAGLE, podrobné schéma nabíječky a obrázek plošného spoje jsou uvedeny v příloze.

2.3 Popis činnosti

2.3.1 Výkonová část

Výkonová část nabíječky se skládá ze síťového transformátoru, usměrňovače, kondenzátorového filtru a dále pak z integrovaného obvodu L200 a dvou výkonových tranzistorů.

Síťové napětí 230 V/50 Hz je nejprve přivedeno na vstup transformátoru, kde je transformováno na 18 V, usměrněno a vyfiltrováno. Poté je získané stejnoměrné napětí přivedeno na vstup obvodu L200, který slouží jako stabilizátor napětí a také umožňuje nastavení velikosti nabíjecího proudu. Pomocí výkonových tranzistorů jsou vytvořeny nabíjecí a vybíjecí pulzy.

2.3.1 Řídící část

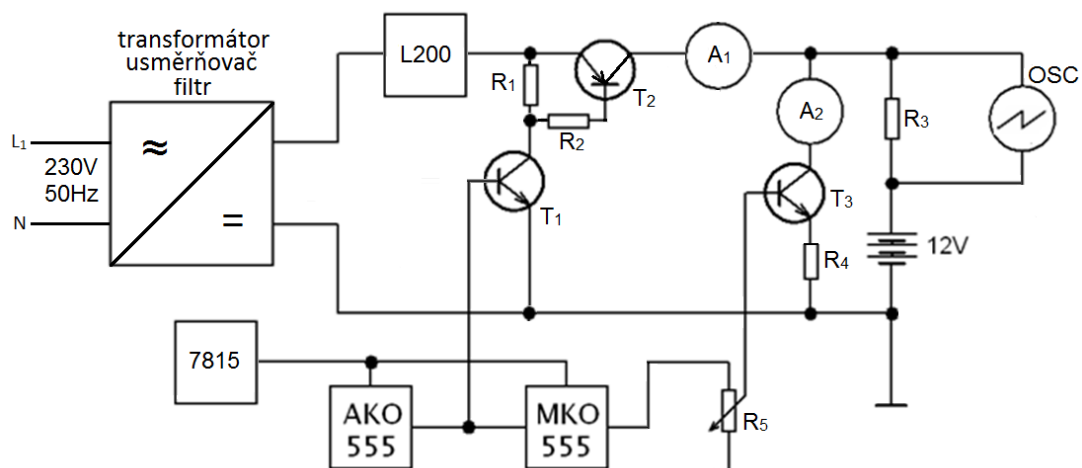
Aby bylo možné výkonové tranzistory spínat a vytvořit tak nabíjecí a vybíjecí obdélníkové pulzy, je nutné tyto správně řídit. K tomuto účelu slouží klopné obvody (astabilní a monostabilní), které byly sestaveny pomocí integrovaných obvodů NE555.

Kladný nabíjecí impuls je tvořen tranzistorem T_2 , který je spínán tranzistorem T_1 . Tranzistor T_1 je řízen astabilním klopným obvodem (AKO).

Záporný vybíjecí impuls je tvořen tranzistorem T_3 , který je řízen monostabilním klopným obvodem (MKO). K nastavení amplitudy vybíjecího pulzu slouží potenciometr R_5 , který ovládá míru otevření tranzistoru T_3 .

Obdélníkový průběh, který generuje AKO, je přiveden na vstup MKO. Sestupná hrana průběhu AKO spíná MKO a na jeho výstupu se pak objeví kladný obdélníkový impulz, který je přiveden na tranzistor T_3 . Díky tomuto zapojení tak nemohou být oba tranzistory otevřeny zároveň.

Chceme-li pomocí osciloskopu přesně změřit velikost nabíjecího nebo vybíjecího proudu, stačí hodnotu napětí na osciloskopu vynásobit desítkou, jelikož hodnota měřicího rezistoru R_3 je $0,1 \Omega$.



Obr. 15 Zjednodušené schéma nabíječky

3 Experimentální část

Experimentální část této bakalářské práce je zaměřena na ověření funkčnosti sestrojené nabíječky akumulátorů, posouzení její vhodnosti k dalšímu využívání a porovnání rozdílů mezi nabíjením proudem konstantním a pulzním.

3.1 Popis měření

Přidělený 12V olověný akumulátor byl nejprve nabit konstantním proudem na napětí 14,4 V, poté byla k akumulátoru připojena odporová zátěž, která se skládala ze dvou paralelně zapojených 12V žárovek o celkovém příkonu 70 W. Touto zátěží byl akumulátor vybit na hodnotu 10,8 V. Vybitý akumulátor byl poté nabíjen různými tvary nabíjecích průběhů a byl zkoumán jejich vliv na využitelnou kapacitu akumulátoru.

Měření se skládalo ze dvou částí. V první byl akumulátor, viz výše, nabíjen různými tvary pulzních průběhů, ze kterých byl vybrán ten s nejlepším vlivem na akumulátor. V druhé části měření byl výše uvedený průběh zkoumán detailněji. Měření probíhalo tak, že akumulátor byl nabit konstantním proudem, poté byl vybit, dále byl nabit pulzním proudem a poté opět vybit. Tento celý cyklus se několikrát opakoval.

3.2 Výsledky měření

V prvním cyklu měření byla nejprve zjištěna výchozí kapacita akumulátoru, která byla vypočtena podle vzorce

$$C = I_{V(AV)} \cdot t_V \quad (2)$$

kde C je kapacita akumulátoru v ampérhodinách, $I_{V(AV)}$ střední hodnota vybíjecího proudu v ampérech a t_V doba vybíjení v hodinách. Z naměřených hodnot byla vypočtena výchozí kapacita akumulátoru $C = 17,08 \text{ Ah}$.

V 2. až 5. cyklu byl akumulátor nabíjen dvěma typy pulzních průběhů, u nichž se lišil tvar vybíjecího pulzu. Nejprve byl tvar vybíjecího pulzu nastaven jako úzký s velkou amplitudou a poté naopak jako široký s malou amplitudou. Oba průběhy byly měřeny při 25 a 100 Hz.

Během měření se jako nejlepší ukázal průběh použitý ve třetím cyklu, jehož parametry byly $f = 100 \text{ Hz}$, $A_2 = 12 \text{ A}$, $t_2 = 1 \text{ ms}$. Tento průběh byl poté ve druhé části měřen detailněji.

V následujících cyklech č. 6 až 11 byl akumulátor nabíjen střídavě konstantním a pulzním proudem. Z naměřených hodnot uvedených níže je patrné, že pulzní průběh nabíjecího proudu měl do určité míry kladný vliv na využitelnou kapacitu akumulátoru, jelikož po každém pulzním nabíjení tato kapacita lehce vzrostla.

1. cyklus			2. cyklus			3. cyklus			4. cyklus			5. cyklus		
konstantní proud			f = 25Hz, vyb. pulz 12A, 1ms			f = 100Hz, vyb. pulz 12A, 1ms			f = 25Hz, vyb. pulz 2A, 16ms			f = 100Hz, vyb. pulz 2A, 3ms		
t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)
0	12,2	5,9	0	12,48	5,97	0	12,53	5,99	0	12,55	6	0	12,55	6,03
10	12,11	5,94	10	12,41	5,93	4	12,49	5,93	8	12,44	5,93	6	12,47	5,91
26	12,01	5,8	20	12,33	5,92	14	12,41	5,92	19	12,37	5,91	11	12,4	5,91
43	11,92	5,79	35	12,25	5,58	28	12,33	5,91	31	12,3	5,9	22	12,29	5,89
69	11,84	5,78	52	12,17	5,86	43	12,25	5,89	43	12,22	5,87	37	12,2	5,86
95	11,77	5,73	66	12,09	5,83	58	12,18	5,87	75	12,03	5,83	50	12,12	5,85
110	11,72	5,72	83	12	5,79	76	12,08	5,84	86	11,96	5,82	61	12,05	5,82
124	11,66	5,71	101	11,89	5,77	89	12	5,82	96	11,9	5,8	77	11,95	5,79
133	11,62	5,7	116	11,79	5,75	103	11,92	5,8	111	11,8	5,75	92	11,86	5,75
141	11,57	5,7	130	11,68	5,71	125	11,77	5,75	129	11,67	5,71	108	11,76	5,73
153	11,49	5,66	146	11,56	5,68	141	11,65	5,72	143	11,56	5,7	129	11,61	5,72
159	11,45	5,64	156	11,46	5,67	152	11,56	5,69	160	11,4	5,64	144	11,5	5,68
165	11,38	5,63	163	11,38	5,65	160	11,48	5,64	170	11,3	5,61	168	11,3	5,61
169	11,31	5,62	169	11,3	5,63	170	11,32	5,62	178	11,2	5,58	177	11,18	5,58
172	11,24	5,59	174	11,22	5,59	177	11,17	5,57	183	11,1	5,56	182	11,1	5,55
175	11,11	5,56	177	11,11	5,57	179	11,06	5,53	186	11	5,53	187	11	5,52
177	10,96	5,53	179	10,99	5,53	182	10,94	5,51	188	10,9	5,5	190	10,9	5,5
180	10,8	5,5	182	10,8	5,5	185	10,8	5,49	190	10,8	5,49	192	10,8	5,49

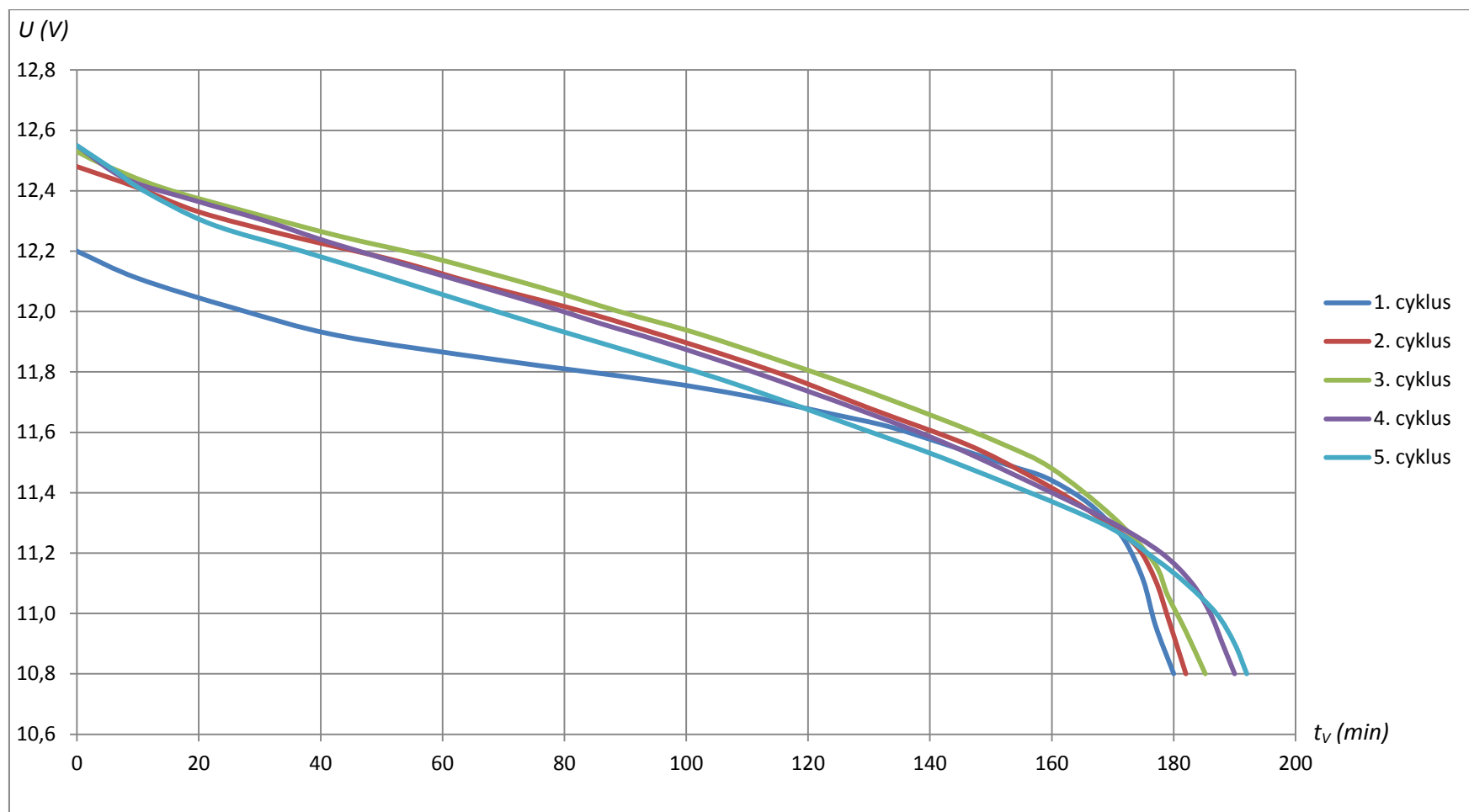
kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)	
17,08		17,35		17,74		18,14		18,34	
Průměrný vybíjecí proud (A)	5,69	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,72	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,75	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,73	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,73

Obr. 16 Naměřené hodnoty v cyklech 1 až 5

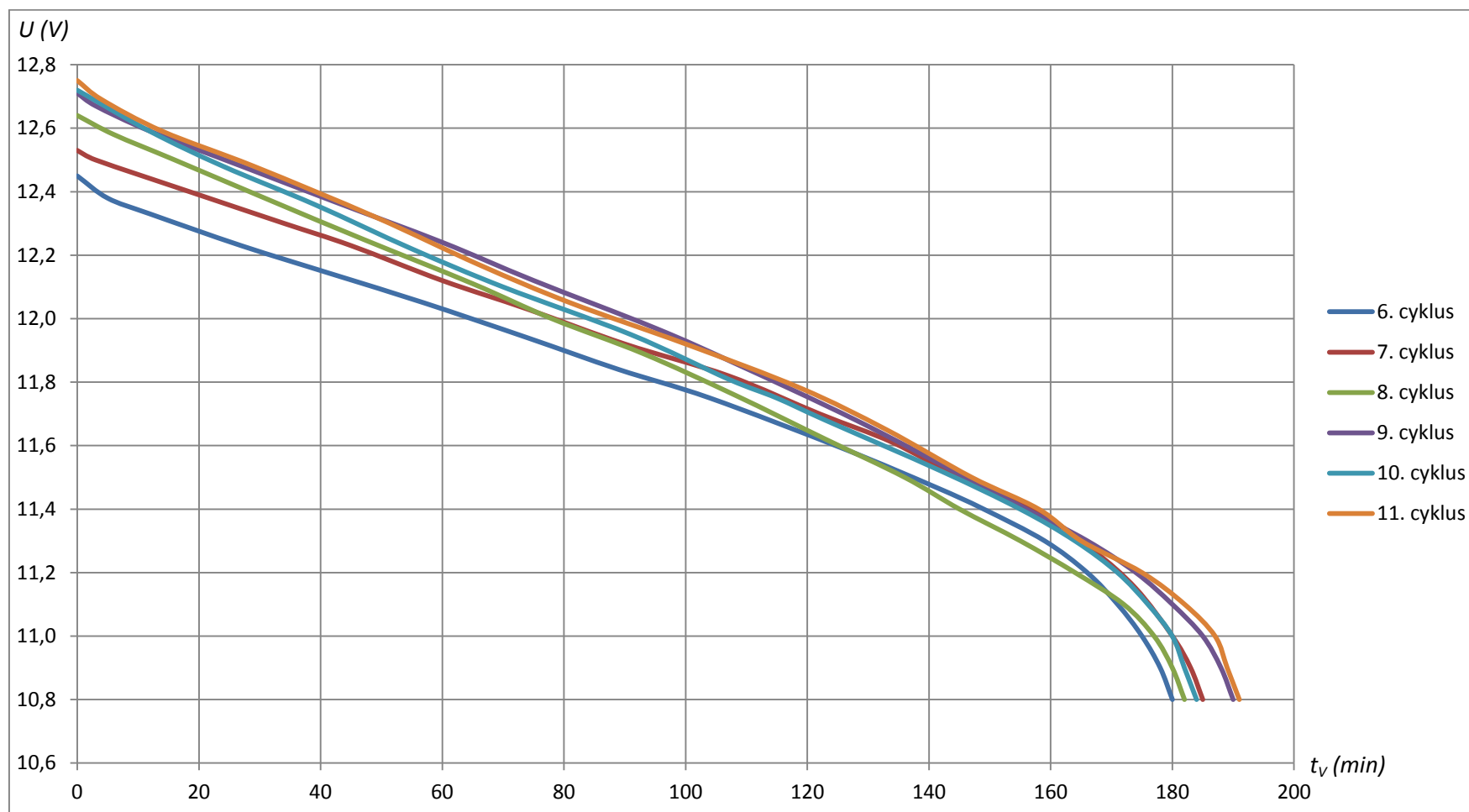
6. cyklus			7. cyklus			8. cyklus			9. cyklus			10. cyklus			11. cyklus		
konstantní proud			f = 100Hz, vyb. pulz 12A, 1ms			konstantní proud			f = 100Hz, vyb. pulz 12A, 1ms			konstantní proud			f = 100Hz, vyb. pulz 12A, 1ms		
t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)	t _v (min)	U (V)	I _v (A)
0	12,45	5,94	0	12,53	6	0	12,64	6,02	0	12,71	6,04	0	12,72	6,04	0	12,75	6,08
5	12,38	5,91	3	12,5	5,96	6	12,58	5,98	3	12,67	6,01	12	12,59	5,98	4	12,69	6,02
12	12,33	5,89	20	12,39	5,93	16	12,5	5,96	12	12,59	5,99	24	12,48	5,96	14	12,59	6
27	12,23	5,87	34	12,3	5,91	32	12,37	5,93	27	12,48	5,96	39	12,36	5,93	29	12,48	5,96
42	12,14	5,85	45	12,23	5,89	47	12,25	5,9	42	12,37	5,93	55	12,22	5,9	49	12,32	5,92
57	12,05	5,81	60	12,12	5,86	65	12,11	5,84	60	12,24	5,89	70	12,1	5,86	66	12,17	5,88
74	11,94	5,78	74	12,03	5,84	78	12	5,84	75	12,12	5,86	91	11,95	5,82	81	12,05	5,85
89	11,84	5,76	90	11,92	5,81	93	11,89	5,8	95	11,97	5,82	107	11,81	5,78	100	11,92	5,82
104	11,75	5,75	107	11,82	5,78	108	11,76	5,76	108	11,86	5,79	115	11,75	5,74	119	11,78	5,78
126	11,59	5,71	122	11,7	5,75	123	11,62	5,73	128	11,68	5,74	123	11,68	5,72	133	11,65	5,74
141	11,47	5,67	134	11,61	5,73	136	11,5	5,69	146	11,5	5,69	142	11,52	5,7	147	11,5	5,7
149	11,4	5,66	145	11,5	5,69	145	11,4	5,67	156	11,4	5,66	155	11,4	5,67	158	11,4	5,67
159	11,3	5,62	158	11,39	5,66	155	11,3	5,64	166	11,3	5,64	164	11,3	5,64	165	11,3	5,64
166	11,2	5,6	167	11,27	5,62	164	11,2	5,61	174	11,2	5,61	171	11,2	5,61	175	11,2	5,62
171	11,1	5,57	174	11,15	5,59	172	11,1	5,58	180	11,1	5,58	176	11,1	5,58	182	11,1	5,58
175	11	5,54	180	11	5,55	177	11	5,56	185	11	5,55	180	11	5,55	187	11	5,56
178	10,9	5,51	183	10,9	5,52	180	10,9	5,53	188	10,9	5,52	182	10,9	5,52	189	10,9	5,53
180	10,8	5,5	185	10,8	5,5	182	10,8	5,5	190	10,8	5,5	184	10,8	5,5	191	10,8	5,5

kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)		kapacita (Ah)	
17,16		17,74		17,45		18,26		17,63		18,37	
Průměrný vybíjecí proud (A)	5,72	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,76	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,75	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,77	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,75	Průměrný vybíjecí proud (A)	5,77

Obr. 17 Naměřené hodnoty v cyklech 6 až 11



Obr. 18 Vybíjecí charakteristiky pro nabíjecí cykly 1 až 5



Obr. 19 Vybíjecí charakteristiky pro nabíjecí cykly 6 až 11

4 Závěr

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo vypracovat rešerši zabývající se vlastnostmi a parametry nejpoužívanějších akumulátorů na našem trhu se zaměřením na možnosti a způsoby jejich nabíjení. Praktická část se věnovala návrhu a realizaci nabíječky akumulátorů, která by umožňovala vytvořit vybíjecí pulz. V experimentální části práce byl kladen důraz na posouzení vlivu tvaru průběhu nabíjecího proudu na velikost využitelné kapacity akumulátoru. Měření pak probíhalo na předem zkonstruované nabíječce a sloužilo tak zároveň i jako její otestování.

Měření využitelné kapacity se skládalo ze dvou částí. První sloužila ke zjištění výchozí kapacity akumulátoru a typu průběhu s nejlepším vlivem na akumulátor, v následující části byl sledován vliv zmíněného průběhu na využitelnou kapacitu akumulátoru.

V prvním cyklu bylo nutné zjistit výchozí hodnotu využitelné kapacity akumulátoru, a to jeho nabitím konstantním proudem na hodnotu 14,4 V a následným vybitím na 10,8 V. Z doby vybíjení a průměrného vybíjecího proudu byla podle rovnice (2) určena výchozí kapacita akumulátoru. Tvar a frekvence pulzního nabíjecího proudu byl v druhém až pátém cyklu měněn z důvodu zjištění, který průběh bude mít na akumulátor nejlepší vliv. Průběh s nejlepším vlivem na akumulátor byl v cyklech 6 až 11 zkoumán důkladněji.

Naměřené a vypočtené hodnoty v Tab. 1 dokazují, že pulzní nabíjení mělo do určité míry pozitivní vliv na využitelnou kapacitu akumulátoru, která se postupně s přibývajícemi cykly vždy mírně zvyšovala. Po posledním cyklu se tato kapacita zvýšila oproti prvnímu cyklu o 7,5 %. Tento jev ale spíše přisuzuji faktu, že akumulátor byl před samotným měřením delší dobu v nečinnosti. Bylo by proto vhodné vliv pulzního nabíjení ověřit důkladněji na větším počtu baterií a ve více nabíjecích a vybíjecích cyklech.

Co se týče ověření funkčnosti nabíječky a posouzení vhodnosti jejího využití pro nabíjení akumulátorů, nenašel jsem důvod, který by jejímu dalšímu použití bránil.

Seznam použité literatury

- [1] Historie akumulátoru. *FRONIUS: Česká Republika* [online]. © 2006-2014 [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-84C3E6EE-67ABC888/fronius_ceska_republika/hs.xsl/28_8177.htm#.U0fVdvl_tQe
- [2] Voltův sloup. *Wikipedie* [online]. 11.3.2013 [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Volt%C5%AFv_sloup
- [3] Co jste nevěděli o historii baterií. *Nabíjíme.cz: portál o bateriích a adaptérech* [online]. © 2014 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.nabijime.cz/latest/co-jste-nevedeli-o-historii-baterii>
- [4] CENEK, Miroslav a kol. *Akumulátory a baterie*. Praha: STRO.M, 1996. 149 s. Knižnice Elektro, svazek 30.
- [5] Princip: NiCd akumulátory. *Battex, spol. s.r.o.: Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nicd-akumulatory/princip>
- [6] Niklkadmiový akumulátor (NiCd). *Bateria Slaný CZ s.r.o.: Jak funguje niklkadmiový akumulátor (NiCd)?* [online]. 2014 [cit. 2014-03-16]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje/niklkadmiovy-akumulator-nicd.htm>
- [7] Nickel–cadmium battery. *Wikipedia, the free encyklopedia* [online]. 24.3.2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium_battery
- [8] Nabíjení hermetických NiCd akumulátorů. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?id=90>
- [9] Metoda „VCO“. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-03-05]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-napetove/metoda-vco>
- [10] Metoda „PKV“. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-napetove/metoda-pkv>

- [11] Metoda „ $-\Delta V$ “. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-napetove/metoda-delta-v>

- [12] Metoda „ d^2V/dt^2 “. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-napetove/metoda-d-v-dt>

- [13] Ukončení proudové. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-01]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-proudove>

- [14] Ukončení časové. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-casove>

- [15] Ukončení teplotní. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-teplotni>

- [16] Metoda „TCO“. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-teplotni/metoda-tco>

- [17] Metoda „ $\Delta T/\Delta t$ “. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nicd-akumulatoru/ukonceni-teplotni/metoda-dT/dt>

- [18] Nikl-metal hydridový akumulátor. *Wikipedie* [online]. 28.2.2014 [cit. 2014-03-14]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-metal_hydridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor

- [19] Princip: NiMH akumulátory. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nimh-akumulatory/princip>

- [20] Nickel–metal hydride battery. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 9.4.2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery
- [21] Nabíjení hermetických NiMH akumulátorů. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-hermetickych-nimh-akumulatoru>
- [22] Nickel–zinc battery. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 25.3.2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93zinc_battery
- [23] Ni-Zn akumulátory. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/hermeticke-akumulatory/ni-zn-akumulatory>
- [24] PowerGenix Nickel-Zinc Charge Procedure. *PowerGenix* [online]. (c) 2011 [cit. 2014-04-11]. Dostupné z: <http://www.powergenix.com/?q=nizn-charge-procedure>
- [25] Lithium battery. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 30.3.2014 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_battery
- [26] Lithium-ion battery. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 9.4.2014 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery
- [27] Lithium-iontový akumulátor. *Wikipedie* [online]. 5.12.2013 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [28] Nabíjení lithiových akumulátorů. *Battex spol. s.r.o.* [online]. © 2009–2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru/nabijeni-lithiovych-akumulatoru>
- [29] Li-Pol akumulátory - proč se nejpokročilejší technologie neprosazuje?. In: *Notebook.cz* [online]. 22. 6. 2011 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://notebook.cz/clanky/technologie/2011/Li-Pol-akumulatory>
- [30] Lithium polymer battery. *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 12.4.2014 [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery

- [31] HAMMERBAUER, Jiří. *Olověné akumulátory*. [online]. [cit. 2014-4-10], Dostupné z: <http://www.renerga.cz/content/file/AKUMUL%C3%81TORY%20TEORIE%202.PDF>
- [32] MARCONI. *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení* [online]. 20.12.2008 [cit. 18-4-2014]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [33] Desulfatace – obnova kapacity Pb aku aneb Nehaž olovo do žita !. *Wiki.MyPower.CZ* [online]. 3.4.2012 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://wiki.mypower.cz/desulfatace>

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Podrobné schéma nabíječky
- Příloha č. 2: Plošný spoj se součástkami
- Příloha č. 3: Průběhy proudu v jednotlivých nabíjecích cyklech
- Příloha č. 4: Fotografie realizované nabíječky